

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Análisis de las variables fisiológicas que predicen el
rendimiento en XCO-MTB: revisión sistemática.

Analysis of the physiological variables to predict the
performance in XCO-MTB:
systematic review.

Autor/es

Pablo Clavero Castillo

Director/es

José Antonio Poblador Vallés
(Área de Educación Física y Deportiva)

SEPTIEMBRE 2020

Resumen:

Introducción: La competición en BTT, en su modalidad olímpica, consiste en recorrer un circuito por caminos forestales, pistas y campos de tierra y grava que debe incluir importantes subidas y bajadas. Comprender las demandas fisiológicas nos permitirá realizar un mejor ajuste y planificación de los entrenamientos.

Objetivo: El objetivo de esta revisión es resumir la literatura disponible y analizar las variables fisiológicas que predicen y se relacionan con el rendimiento en la modalidad Olímpica de bicicleta todo terreno (XC) cross-country o campo a través.

Material y métodos: Se realiza una búsqueda bibliográfica desde 2017 hasta marzo de 2020, en las bases de datos Pubmed, Scopus y Web of Science, con el objetivo de incluir artículos centrados en el análisis de las variables fisiológicas que predicen el rendimiento.

Resultados: De los 20 artículos que arrojó la búsqueda inicial, se incluyen un total de 6 en esta revisión. Se ha realizado una lectura exhaustiva de los estudios para extraer los datos más relevantes, a partir de los cuales se ha comprobado que la predicción del rendimiento más fuerte se obtiene a partir de múltiples variables.

Discusión:

A pesar de las fuertes correlaciones entre las diferentes variables, son necesarias nuevas intervenciones que respalden dicha evidencia y que aporten nuevas pruebas acerca de la metodología más adecuada.

Conclusiones:

Los resultados de esta revisión confirman investigaciones anteriores, que sugieren que el rendimiento de XCO se basa en una combinación de capacidades aeróbicas y anaeróbicas altamente desarrolladas, así como características basadas en habilidades y destrezas específicas.

Palabras clave: XCO-MTB, Predicción, bicicleta todo terreno, Fisiología, Potencia.

Abstract:

Introduction:

MTB competition, in Olympic modalities, athletes have to recorder of a circuit with forest roads, rocky paths, and gravel that included important ascents and descents. The components of our physiological requirements allow for a better fit and planning of workouts.

Aim:

The aim of this review is to summarize the available literature and analyze the physiological variables that are predicted and considered with an Olympic modality (XC) cross-country.

Material and methods:

See a real bibliography from 2017 to March 2020, in the bases of Pubmed data, Scopus and Web of Science, with the aim of including articles focused on the analysis of the various physiological predictions.

Results:

Of the 20 artists listed in the first edition, including a total of 6 in this review. If you have done a thorough reading of the studies to extract the most relevant data, from which it has been found that the strongest performance prediction is obtained from multiple variables.

Discussion:

In addition to the various correlations between the different variables, there are no new interventions that are responsible for the evidence and those are new to the methodology of the adjective.

Conclusion:

The results of this investment firm review, which suggests that XCO redirection is based on a combination of highly developed aerobic and anaerobic capacities, as well as characteristics based on specific abilities and skills.

Keywords: XCO-MTB, Predict, Mountain bike, Physiology, Power

Abreviaturas:

CMJ: Counter movement jump

GXT: Graded Exercise Testing (Test incremental),

NP: Tiempo pasado sin pedalear

IAT: Umbral anaeróbico individual

LT₄: Umbral de lactato de 4 mmol

PAM: Potencia aeróbica máxima

PO: Power-output

POR: Power-output of the race (Potencia de salida de la carrera),

PPA. Perfil de potencia

PPT: Prueba de perfil de potencia

RST Repeated sprint test: Prueba de sprints repetidos

VO_{2max}.: Volumen máximo de oxígeno

VO_{2 pico rel}: Consumo pico de oxígeno relativo a la masa corporal,

VT1: Umbral ventilatorio 1

VT2: Umbral ventilatorio 2

XCO-MTB: Corss-country Olympic Mountain bike

ÍNDICE

RESUMEN

1.	INTRODUCCIÓN.....	8
1.1	TIPOS DE PRUEBAS XC	13
2.	OBJETIVOS.....	17
3.	MATERIAL Y MÉTODOS	18
3.1	DISEÑO	18
3.2	BASE DE DATOS SELECCIONADAS	18
3.3	PERIODO TEMPORAL ELEGIDO.....	19
3.4	FUENTES.....	20
3.5	PROCESO DE BÚSQUEDA.....	20
3.6	SELECCIÓN DE ARTÍCULOS (CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN)	21
3.8	ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	22
4.	RESULTADOS.....	23
4.1	SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS	25
5.	DISCUSIÓN.....	35
6.	LIMITACIONES	42
7.	CONCLUSIONES	43
8.	BIBLIOGRAFÍA	45
	ANEXOS	51

1. INTRODUCCIÓN

“La bicicleta de montaña (BTT) nació en los Estados Unidos, al norte de San Francisco, en las laderas del Monte Tamalpais. Su nacimiento debe atribuirse a una serie de aventureros estadounidenses que eran entusiastas del bricolaje. Para ellos, se trataba de salir de los caminos trillados y las carreteras secundarias, que era donde generalmente se realizaban las carreras de bicicletas, para dirigirse hacia los grandes espacios abiertos. Desde principios de la década de 1970, los miembros del «Club de ciclismo de Tamalpais» decidieron adentrarse juntos en los sinuosos y pendientes senderos del bosque del condado de Marin hacia el Monte Tamalpais, en busca de un desafío y grandes emociones. Las bicicletas de esa época, que solo tenían una sola marcha, se llamaban «balloners». Estas rudimentarias máquinas que pesaban unos 25 kilos fueron empujadas hacia la cima simplemente por el placer del descenso”. (UCI. Mountain bike, 2020)

Fue probablemente el conocido corredor ciclista de California y pionero de la BTT, Gary Fisher, quien por vez primera mostró en público que la BTT iba en serio, nada menos que durante una carrera de ciclocross. En el Campeonato de Ciclocross de California de 1980, se presentó con su bicicleta de neumáticos gruesos, y se hizo con el primer premio del campeonato en la categoría sénior. (Plas, R., 1992) Los primeros campeonatos nacionales de bicicleta de montaña se celebraron en 1983 en los Estados Unidos. Pero el deporte creció rápidamente de popularidad en Europa y Australia. El primer Campeonato Mundial de bicicleta de montaña, reconocido por la Unión Ciclista Internacional (UCI), se organizó en 1990. Siguió el reconocimiento olímpico y el ciclismo de montaña debutó como disciplina olímpica en los Juegos de Atlanta en 1996, con un evento de cross country para hombres y mujeres. (IOC, 2020)

La competición en BTT, en su modalidad olímpica, consiste en recorrer un circuito por caminos forestales, pistas y campos de tierra y grava que debe incluir importantes subidas y bajadas. Se recorre varias veces para ajustar un tiempo, generalmente entre 80-100 minutos. (UCI Regulations, 2020) y por ello, las investigaciones iniciales de laboratorio se han centrado en las características aeróbicas de los atletas de XCO-MTB (Cross-country Olympic- Mountain Bike). Se adjunta en la figura 2 imagen de un circuito real de XCO.

Un aspecto fundamental que he considerado desarrollar en detalle son las características del circuito, para posteriormente comprender las demandas fisiológicas de dicha modalidad deportiva.

El circuito debe representar un desafío para los mejores corredores, pero también debe presentar un nivel de dificultad que se pueda lograr cuando se está en una bicicleta y debe cumplir con los requisitos de seguridad y visibilidad en lo que respecta a los medios y espectadores. Estas pistas están expuestas a la lluvia, el viento y la erosión, lo que afecta la exposición de rocas, ramas, surcos y raíces de árboles. Además, otros obstáculos como árboles caídos o rocas sueltas pueden aparecer en la pista e impactar significativamente en la ruta. (UCI, 2020)

Los corredores comienzan desde un inicio masivo, generalmente en una amplia sección plana de la pista (≥ 8 m), antes de hacer la transición a varias subidas y bajadas en caminos más estrechos donde los ciclistas pueden estar limitados a una sola fila. Dadas las dificultades inherentes de adelantar a los corredores que son más lentos o que se han

estrellado en secciones de una sola pista, los corredores que comienzan hacia la parte trasera del campo pueden verse inmediatamente en desventaja. A, Legaz (2012) sugiere que se desarrolla mayor intensidad en las primeras vueltas con el fin de obtener una mejor posición y así evitar la limitación de velocidad causada por ciclistas mejor posicionados en las partes del circuito donde es difícil adelantar. Está demostrado que el tiempo en recorrer el circuito en las primeras vueltas es significativamente inferior al de las últimas vueltas, aunque las variaciones de intensidad en competencias de BTT son debidas prioritariamente a la orografía (Impellizzeri et al., 2002)

La mayoría de los estudios científicos previos sobre la disciplina se realizaron antes de 2007 (Gregory, 2002 ; Impellizzeri et al., 2002 ; Lee et al., 2002 ; Stapelfeldt et al., 2004 ; Impellizzeri y Marcora, 2007).

Según A, Legaz (2012) las competencias de BTT son un ejemplo de esfuerzo máximo continuo ejecutado a intensidad variable, es decir, en las diferentes situaciones de competición se requiere la utilización de todas las zonas metabólicas. Los ciclistas de MTB han sido examinados previamente por Impellizzeri y Marcora (2007). Algunas variables fisiológicas pueden desempeñar un papel más importante en la determinación de los factores de rendimiento, particularmente la potencia y la capacidad aeróbica, cuando se normalizan a la masa corporal. Sin embargo, existe evidencia de que durante varios momentos en las competencias, los atletas pueden mantener intensidades de ejercicio cercanas o superiores a las requeridas para mantener su consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), superiores al 90% (Macdermid, P., & Stannard, S., 2012), (Hays et al., 2018)

Durante una carrera de XCO en bicicleta de montaña, una parte importante de la carrera se realiza por encima del segundo umbral de ventilación o incluso más allá de PAM (potencia aeróbica máxima), lo que indica un alto nivel de solicitud de vías metabólicas aeróbicas y anaerobias; Además, las contribuciones respectivas de estas vías varían entre vueltas (Hays et al., 2018). Los períodos pasados más allá del PAM tienden a ser ráfagas cortas, oscilando principalmente entre 5 y 10 s, lo que sugiere que el ciclismo de montaña tiene un perfil acíclico (Reilly et al., 2000 ; Cormery et al., 2007)

Stapelfeldt et al. (2004) informa que los atletas aumentan cuesta arriba su potencia a niveles superiores a los 500 W. Hay fases en las que se necesitan esfuerzos máximos y supramáximos, como durante una escalada empinada, al comienzo de la carrera o para pasar a corredores más lentos. Por estas razones, se ha sugerido que una alta potencia anaeróbica, aparte de la alta aptitud aeróbica, puede ser importante para satisfacer las demandas fisiológicas de las competiciones de ciclismo off-road (Inoue, A. et al., 2012)

Además, de manera similar a la potencia aeróbica, la relación entre los parámetros derivados de las pruebas anaeróbicas y el rendimiento de XCO fue mayor cuando se normaliza a la masa corporal en comparación con los valores absolutos. La importancia de la relación potencia / peso se debe a las diversas subidas que caracterizan las carreras de XCO. De hecho, la masa corporal puede explicar del 10 al 20% del rendimiento cuesta arriba. Por lo tanto, se puede especular que la masa de la parte inferior del cuerpo de los atletas de XCO puede deberse a un proceso de selección natural determinado por los requisitos fisiológicos específicos de las competiciones de XCO (Inoue, A. et al., 2012)

El desarrollo de la medición del perfil de potencia (PPA) ha permitido cuantificar las producciones de potencia aeróbica y anaeróbica de los ciclistas utilizando un protocolo único de ~ 50 min (Quod, M., et al., 2010). La medición del perfil de potencia (PPA) se desarrolló principalmente para ser utilizada en ciclistas de ruta y en triatletas y ha sido utilizada como un protocolo recomendado para evaluar el potencial de ciclismo. Sin embargo, el protocolo fue adoptado recientemente para corredores de XCO-MTB en las cuales se observó que varios esfuerzos contribuyen significativamente con los modelos predictivos de rendimiento (Novak et al., 2018). Además, la naturaleza altamente intermitente de la producción de potencia en XCO-MTB significa que es poco probable que un esfuerzo constante tenga una duración superior a 600 s (Macdermid, P., & Stannard, S., 2012). Por lo tanto, la PPA podría ser útil para la cuantificación de las características aeróbicas y anaeróbicas de los atletas XCO-MTB y podría ser útil como una herramienta de evaluación discriminativa

Estudios recientes (Inoue, A. et al., 2012; Miller, M., & Moir, G. 2013) han demostrado que las características anaeróbicas se correlacionan fuertemente con el rendimiento en XCO-MTB.

Estos datos tienen fuertes implicaciones para los entrenadores y ciclistas de XCO-MTB, ya que demuestran las características más apropiadas que pueden determinar el rendimiento en relación con las características específicas del circuito. (Novak et al., 2018)

1.1 TIPOS DE PRUEBAS XC

De acuerdo con la Real Federación Española de Ciclismo (RFEC. 2020) La disciplina de mountain bike, pruebas XC (capítulo II pruebas de cross-country) comprenderá los tipos de pruebas siguientes, compuestas de los siguientes formatos:

Cross-country olímpico: XCO

El circuito de una prueba de cross-country formato olímpico debe tener una longitud de 4 km como mínimo y 6 km de máximo, por circuitos ondulados (con descensos técnicos, caminos forestales, caminos rocosos y obstáculos). La carrera cambia de 1 h 20 minutos a 1 h 40 minutos según la categoría.

	Campeonatos del mundo, copa del mundo, hors class, clase 1		Clase 2		Clase 3	
	Tiempo	Km x Vuelta	Tiempo	Km x Vuelta	Tiempo	Km x Vuelta
Hombres júnior	1:00-1:15	4-6	1:00-1:15	4-10	1:00-1:15	Sin restricción y cualquier tipo de carrera
Féminas júnior	1:00-1:15		1:00-1:15		1:00-1:15	
Hombres sub-23	1:15-1:30		N/A*		N/A *	
Féminas sub-23	1:15-1:30		N/A*		N/A *	
Hombres élite	1:20-1:40		1:30-2:00		Sin restricción	
Féminas élite	1:20-1:40		1:30-2:00			

* sub-23 competirán con élite

Real Federación Española de Ciclismo (2020) Reglamento del deporte ciclista UCI. Pruebas de mountain bike. Título IV - Capítulo II. La duración y longitud de las vueltas de una prueba de cross-country modalidad olímpica, en las diferentes pruebas descritas en la tabla superior, deberán inscribirse lo más posible en las bandas siguientes de duración de la prueba (en horas y minutos)

Cross-country maratón: XCM

Es una de las principales disciplinas del ciclismo de montaña (MTB) y se caracteriza por su actividad intermitente de alta intensidad debido a su gran cantidad de subidas y

tramos de descenso. 1–4 Las duraciones y los perfiles de pista de las carreras XCM pueden variar de 90 minutos a 6 horas o de 60 km a 160 km. Los eventos de maratón a campo traviesa son bastante diferentes del campo olímpico que es el otro evento competitivo de MTB popular. Según Wirnitzer, K. C., y Kornexl, E. (2008) el maratón a campo través es más largo que el campo olímpico y, por lo tanto, la distancia total y la altitud escalada es considerablemente mayor.

Cross-country en línea: XCP (punto a punto)

El recorrido de una prueba de cross-country en línea deberá partir de un lugar para finalizar en otro lugar. Las pruebas de un día XCP registradas en el calendario internacional serán consideradas como clase 3. Las pruebas XCP serán consideradas como pruebas XCO.

Cross-country en circuito corto: XCC (short track)

Salida en grupo. Los corredores compiten en un circuito de aproximadamente 1.5 km. Se registra el tiempo de la primera vuelta, luego el cuenta vueltas indica el número de vueltas restantes, calculado para dar tiempos de carrera de aproximadamente quince minutos en el caso de la prueba clasificatoria, y aproximadamente veinte minutos para la final.

Cross-country eliminatorio: XCE (Eliminator)

Esta es una prueba de eliminación directa, que tiene lugar en un circuito de aproximadamente 800 a 1000 metros. Todos los corredores hacen una contrarreloj de clasificación y los 32 participantes más rápidos pasan a la final.

Cross-country contra el reloj: XCT (time trial)

Las pruebas de XCT sólo serán utilizadas durante pruebas por etapas (XCS).

Cross-country relevos por equipos: XCR (team relay)

Las pruebas cross-country relevos por equipos deberán ser organizadas con ocasión de los campeonatos del mundo, pudiendo organizarse en los campeonatos continentales, tal como está previsto en los artículos (9.2.032 y 9.2.033). Sólo se otorgarán puntos UCI durante el campeonato del mundo y campeonatos continentales. Un mínimo de 5 naciones será necesario en XCR para que sean asignados puntos UCI. Los puntos se otorgarán a la nación y no a corredores de forma individual

Cross-country pruebas por etapas: XCS (stage races)

Una carrera por etapas estará constituida de una serie de pruebas de cross-country disputadas por equipos, corredores de federación nacional y corredores individuales. Los corredores deberán terminar cada una de las etapas, respetando las reglas que le conciernen, con el fin de poder continuar la etapa siguiente. Las carreras por etapas de MTB son diferentes del ciclismo de ruta en términos del terreno que cubren los ciclistas y las habilidades técnicas requeridas, y también es diferente de XCO en términos de intensidad y duración. (Engelbrecht L, Terblanche E., 2018)

De acuerdo a lo anterior, vemos que son muchas las modalidades del ciclismo, pero cabe mencionar que la presente investigación se dedicara al ciclismo de montaña denominado Cross-country Olímpico. Así como también, se reconocen las múltiples variables que intervienen en el rendimiento del deportista, en este estudio se evaluarán

todas las variables fisiológicas que pueden predecir el rendimiento de la modalidad XCO-MTB (Cross-country Olympic – Mountain Bike).

2. OBJETIVOS

Este trabajo pretende recopilar y organizar los estudios realizados en los últimos años en la literatura científica, mediante un diseño de investigación denominado revisión sistemática, según Moher D, et., (2014) “son una revisión de una pregunta claramente formulada que utiliza métodos sistemáticos y explícitos para identificar, seleccionar y evaluar críticamente la investigación, para recopilar y analizar datos de los estudios incluidos en la revisión.”

De esta manera, se tratará de averiguar las variables fisiológicas que pueden predecir o tienen cierta influencia en el rendimiento este deporte Olímpico y cuanta información tenemos ahora mismo sobre él, además de presentar posibles lagunas existentes en la investigación internacional referida al XCO-MTB (Cross-country Olympic – Mountain Bike). Además de poder reorientar investigaciones futuras hacia los campos menos estudiados, e intentar contribuir al desarrollo de este deporte en todos sus ámbitos.

A nivel personal, realizar esta investigación puede otorgarme ciertas capacidades o aptitudes que me ayuden como entrenador a planificar entrenamientos de forma objetiva, ajustar el programa de entrenamiento de un atleta o incluso descubrir nuevos talentos deportivos. Dado que podré mostrar que tengo conocimientos sobre este deporte basados en la evidencia científica, lo cual me aportará rigor profesional.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Para realizar este estudio, se comenzó con una revisión de las bases de datos elegidas inicialmente para la búsqueda de bibliografía de interés. Después se siguió una metodología de trabajo en la cual se recogieron los artículos organizados en carpetas por bases de datos, y fueron eliminados todos aquellos que no cumplían con los requisitos para ser incluidos en la investigación. Con la selección final de artículos, se realizó una tabla en la que se incluyeron los datos bibliográficos de cada artículo y se clasificaron en cinco ámbitos diferentes, con sus correspondientes sub-ámbitos. En la discusión se analizan y exponen esos resultados, y se comparan entre las investigaciones. Tras esto se exponen las conclusiones obtenidas tras la realización del trabajo.

3.1 DISEÑO

Este estudio ha seguido la metodología de revisión sistemática propuesta en los elementos preferenciales para informar sobre revisiones sistemáticas y metaanálisis (PRISMA) (Urrútia, G., & Bonfill, X., 2010 ; Moher D, et., 2014).

Esta investigación es una Revisión Sistemática de la bibliografía científica internacional más relevante en relación con el XCO. La revisión se centra en las publicaciones realizadas entre enero de 2017 y abril de 2020.

3.2 BASE DE DATOS SELECCIONADAS

La búsqueda bibliográfica se realizó en bases de datos electrónicas, y la estrategia de búsqueda se aplicó en tres bases de datos diferentes, Pubmed, Scopus y Web Of Science.

Las bases de datos, de carácter científico, seleccionadas para realizar la búsqueda bibliográfica incluyen artículos publicados en su mayor parte en lengua inglesa.

PubMed. Es un motor de búsqueda de libre acceso a la base de datos MEDLINE de citaciones y resúmenes de artículos de investigación biomédica. También incluye referencias de libros, actas de congresos, etc. PubMed es un proyecto desarrollado por la National Center for Biotechnology Information (NCBI) en la National Library of Medicine (NLM). (“PubMed | NCBI”)

Scopus. Esta es una base de datos de referencias bibliográficas y citas de la empresa Elsevier, de literatura peer review y contenido web de calidad, con herramientas para el seguimiento análisis y visualización de la investigación. (“Base de datos de Scopus | Recursos Científicos,” 2020)

Web Of Science (WOS) es una plataforma basada en tecnología Web que recoge las referencias de las principales publicaciones científicas de cualquier disciplina del conocimiento, tanto científico como tecnológico, humanístico y sociológicos desde 1945. (“Web Of Science | FECYT,” n.d.)

3.3 PERIODO TEMPORAL ELEGIDO.

El periodo de tiempo que abarca la investigación está comprendido entre enero de 2017 y abril de 2020.

3.4 FUENTES.

Toda la información de este trabajo fue obtenida a través de Internet. Las tres bases de datos elegidas son plataformas web en las que se recogen publicaciones científicas de diferentes ámbitos.

3.5 PROCESO DE BÚSQUEDA.

El proceso de búsqueda comenzó acotando las bases de datos en las cuales se iba a buscar la bibliografía sobre el tema abordado. Tras definir las bases de datos que se emplearían, se procedió a realizar una primera búsqueda en todas ellas, empleando los siguientes términos.

Se han realizado tres tipos diferentes de búsqueda, con el objetivo de encontrar todos los estudios publicados sobre el tema. Los filtros aplicados fueron distintos en cada una de ellas: En PubMed fueron, “Article attributes” [atributos de la publicación] y “Text availability” [Texto disponible]; en Scopus fue “article” [artículo]; y en WOS fueron “free full text” [texto completo gratuito] y “article” [artículo]. Para la primera búsqueda, la palabra “Mountain bike XCO” se combinó con la palabra “Power” con el operador booleano AND. Para la segunda búsqueda, la palabra “XCO” se combinó con las palabras “Physiology” con el operador booleano AND. Y, por último, para la tercera búsqueda, nuevamente, la palabra “Mountain bike” se combinó con la palabra “Predict” con el operador booleano AND. Los resultados de las búsquedas se resumen en un diagrama de flujo (Figura 1).

En cuanto al diagrama de flujo, de acuerdo con la declaración de PRISMA, se presenta en la figura 1, en el que se muestran el número de artículos del que se partía y los

artículos que fueron excluidos a través de los pasos que se fueron dando, y de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión.

3.6 SELECCIÓN DE ARTÍCULOS (CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN)

Tras recoger todos los artículos potencialmente válidos para la revisión, se realizó la selección final y exclusión de artículos, mediante los siguientes criterios de inclusión:

- a) Fechas de publicación: se incluyeron solo los artículos publicados en entre el 1 de enero de 2017 y el 15 de abril de 2020.
- b) Idiomas: Se incluyeron solo artículos publicados en castellano e inglés.
- c) Título: Se incluyeron solo los estudios que contuvieran en su título al menos una de las palabras clave anteriormente citadas o derivadas: “XCO”, “Olympic Cross-country”, “Mountain bike”, y “Predict”, así como “Physiology”.
- d) Especificidad: Se incluyeron solo los artículos en los que se realizaban estudios específicos de este deporte. Se excluyeron todos aquellos artículos en los que se recogían datos de varios deportes o se realizaban comparativas.
- e) Autor: Se incluyeron solo los artículos de los cuales se conocía el nombre del autor o autores.

Criterios de exclusión: Aquellos artículos que no se centren en estudiar variables fisiológicas del XCO-MTB. Artículos los cuales no es posible conseguir texto completo.

3.7 RECOGIDA DE LA INFORMACIÓN

En este documento se presenta una tabla (tabla 1) que recoge información de todos los artículos hallados en la fase de búsqueda que incluye la investigación. La segunda tabla (tabla 2) se divide en diferentes columnas en las que aparece toda la información relevante sobre cada artículo. La información expuesta de cada artículo se divide en columnas en las que se presenta: autor/es, año de publicación, tamaño de la muestra, protocolo, variables observadas, resultados y conclusiones. Se emplearon estos apartados porque exponen la información de cada artículo desglosada. De esta manera los datos aparecen de forma clara y ordenada para facilitar posteriormente la obtención de diferentes resultados de interés para la investigación.

3.8 ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Toda la bibliografía recogida y empleada en esta investigación fue guardada en el gestor bibliográfico Refworks. Este programa permite crear una base de datos personalizada para guardar referencias bibliográficas, ordenarlas, realizar búsquedas, extraer listas en diferentes formatos de estilos de cita, y también incorporar las citas y listas bibliográficas a documentos de texto. (Guía RefworksBUZ, 2018).

4. RESULTADOS

En la siguiente tabla se explica el proceso de selección de artículos. La suma de artículos identificados en cada base de datos es de 20 artículos, de los cuales 3 fueron hallados en PubMed y 9 registros en Scopus, y 8 en WOS.

La Tabla 1 muestra la selección inicial de artículos, clasificados y revisados por año de publicación según la base de datos de la cual habían sido obtenidos.

Base de datos	Cantidad de artículos encontrados por año	Total de artículos revisados
Pubmed	2018 (2) 2020 (1)	3
Scopus	2019 (3) 2018 (5) 2017 (1)	9
WOS	2019 (3) 2018 (4) 2017 (1)	8

Tabla 1. Artículos encontrados y revisados por base de datos.

Tras realizar la evaluación metodológica de cada uno de ellos y excluyendo los duplicados, el número se redujo a 18 documentos potencialmente relevantes para su inclusión. De estos, 6 cumplieron los criterios de selección. En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo donde se explica de forma esquemática el procedimiento seguido para la selección de los estudios a revisar.

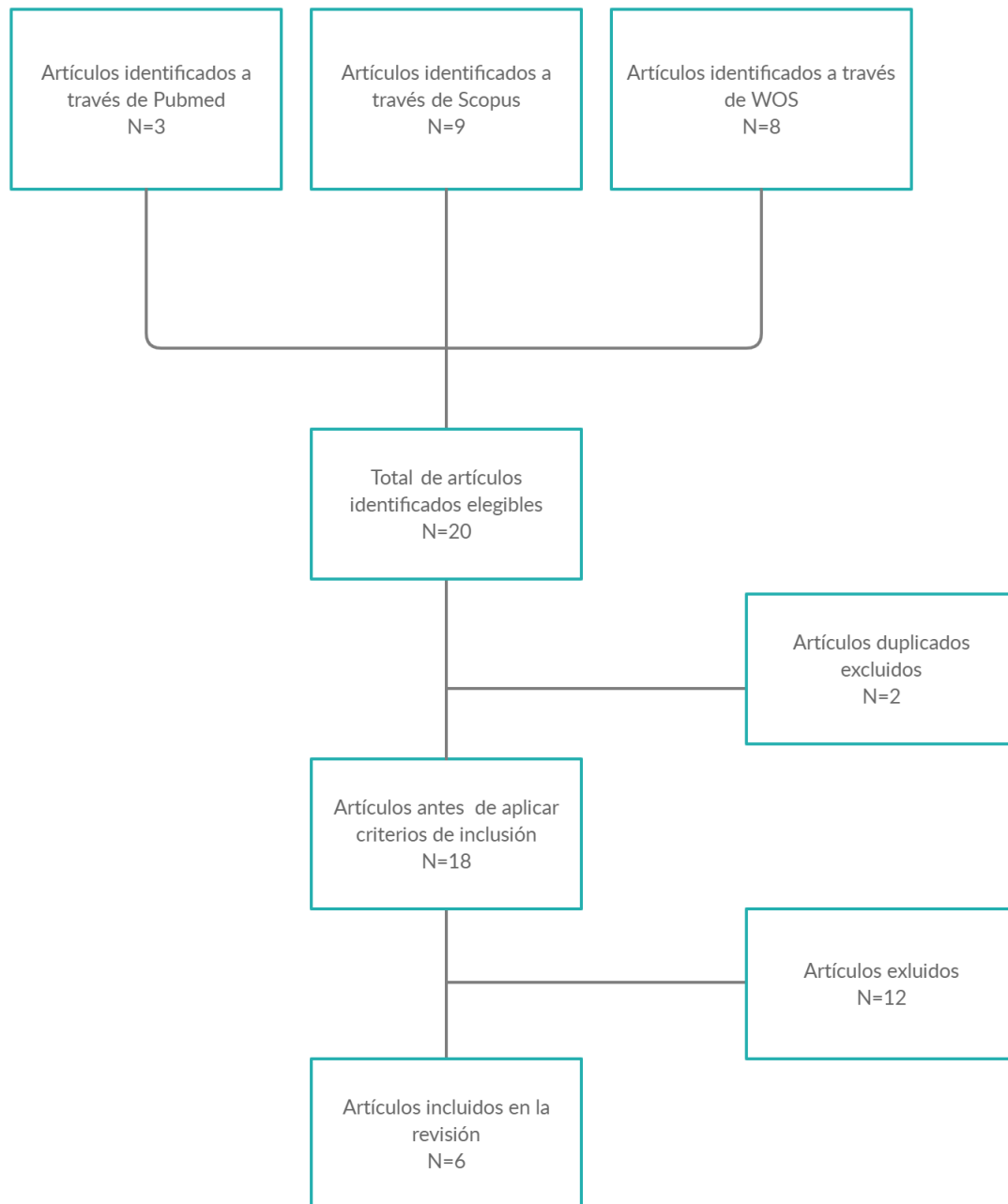


Figura 1. Diagrama de flujo de los diferentes estudios de la revisión sistemática

Filtros: PubMed [Mountain bike XCO (Cross-country Olímpico Bicicleta todo terreno), y power (potencia)], Scopus [article (artículo) XCO (Cross-country Olympic) y Physiology (Fisiología)] y WOS [Mountain bike (Bicicleta todo terreno) y predict (predecir)].

4. 1 SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS

En las siguientes tablas (tabla 2) se ha realizado una síntesis de los datos más relevantes de los estudios incluidos en esta revisión sistemática. Los datos relevantes incluidos han sido: tamaño de la muestra, protocolo, variables observadas, resultados y conclusiones.

El tamaño de la muestra hace referencia al número de individuos que han sido incluidos en los artículos. En la tercera columna destacamos dos protocolos, laboratorio y campo. Según Bazán, N. E , y Colacilli, M (2014), siempre se busca que la evaluación sea lo más específica posible a la actividad deportiva, por lo que la situación ideal de evaluación sería mientras se realiza el propio deporte, pero esto resulta muchas veces imposible, por lo que se debe tratar de recrear la situación en el laboratorio. Las pruebas en laboratorio permiten la obtención de un mayor número de datos, pero en su contra tienen su mayor costo económico y su menor especificidad.

En la cuarta columna incluimos las variables que observadas en los estudios observados, destacando en casi todos ellos la antropometría debido a la importancia que tiene en este deporte la relación potencia-peso. Seguido de la capacidad aeróbica o consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), el cual refleja la máxima capacidad aeróbica de una persona para absorber, transportar y consumir O_2 . Albouaini K, et al. (2007). Además en cada estudio observamos diferentes variables, desde potencia, la toma de decisiones, análisis sanguíneo, sistema aeróbico periférico y central, ritmo cardíaco, cadencia y fuerza de la extremidad superior. Por último se exponen los resultados y las conclusiones de los mismos.

4.2 DESCRIPCIÓN COMPLETA DE LOS ARTÍCULOS

Bejder, J. et al. (2019)

El principal objetivo de este estudio ha sido evaluar el valor predictivo del rendimiento de una caracterización fisiológica detallada de la distancia olímpica en bicicleta de montaña utilizando una regresión lineal múltiple incluyendo variables de rendimiento establecidas y novedosas.

Once atletas de élite daneses de bicicleta de montaña distancia olímpica cross-country masculinos con una desviación estándar media \pm (SD) de edad, la altura y la masa corporal de (19 ± 2 años, 182 ± 6 cm y $70,2 \pm 7,2$ kg). Todos los atletas que compitieron en un nivel élite nacional o internacional. El grupo contenía un múltiple campeón mundial, ganador de la Copa del Mundo, así como dos atletas con múltiples campeonatos nacionales.

Test día 1; muestra de sangre en reposo, mediciones antropométricas, exploración de densidad ósea (DEXA), salto con contramovimiento, contracción voluntaria máxima (MVC), tasa de desarrollo de la fuerza (RFD) “Fuerza explosiva”, Capacidad/prueba de sprints repetidos 4x30” (+100 rpm)/1’ recp , cálculo del índice de fatiga, masa de hemoglobina total y volumen sanguíneo. Test día 2; Consumo de oxígeno pico. Test día 3; capacidad de trabajo máxima de una sola pierna del máximo flujo sanguíneo de la arteria femoral durante la rodilla en extensión.

Los atletas completaron la carrera del campeonato nacional de XCO-BTT, todos los atletas compitieron en la misma ruta en el mismo día. La carrera se llevó a cabo en la

misma área que un anterior Campeonato de Europa de XCO-MTB. El recorrido consistió en pistas secas, y la vuelta curso fue aproximadamente a 5 km con 200 m de la escalada, el 30% camino de tierra, el 55% pista técnica individual y campo abierto 15% por vuelta.

La predicción del rendimiento más fuerte se obtiene por un enfoque de múltiples variable que incluye variables fisiológicas relativamente simples que representan tanto la potencia aeróbica; la fuerza y las variables de potencia muscular.

Resultados

Las variables categorizadas como “predictores muy fuertes y significativos” el rendimiento de XCO-MTB fueron VO_2 pico, rel ($P < 0,01$); índice de fatiga durante la primera carrera de la RST ($P < 0,01$); potencia de pico durante la segunda carrera de la RST ($P < 0,01$) y el ejercicio extensión de rodilla a una pierna, W máx normalizado a muslo masa muscular ($P < 0,05$). Las variables categorizadas como “predictores fuertes y significativas” de rendimiento XCO-MTB fueron, el pico de potencia en relación con la masa corporal durante el primer sprint de la RST ($P < 0,05$), el índice de fatiga durante la segunda carrera de la RST ($P < 0,05$), potencia media durante el tercer sprint de la RST ($P < 0,05$), así como la potencia media de pico ($P < 0,05$) y el índice de fatiga media ($P < 0,05$) durante la RST.

Novak, A. et al. (2018)

Este estudio tuvo como objetivo completar un enfoque multidimensional para predecir el rendimiento de XCO-MTB utilizando medidas de las características fisiológicas específicas de XCO-MTB y la capacidad de toma de decisiones.

Doce ciclistas masculinos XCO-MTB (32.2 ± 8.3 años; 181 ± 7 cm; $81,1 \pm 12,9$ kg; $11.9 \pm 5.5\%$ de grasa corporal; $VO_2 \text{ max: } 60.8 \pm 6.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{Min}^{-1}$).

Cada participante asistió a 3 sesiones de prueba que fueron separadas por al menos 48 h. La primera sesión consistió en una tarea de toma de decisiones específica de XCO-MTB, evaluación de la fuerza máxima de agarre de la mano y un incremento estándar de laboratorio. Una prueba de ejercicio para determinar $VO_{2\text{max}}$. La segunda sesión incluyó una evaluación de perfil de potencia (PPA) basada en laboratorio, y la sesión final requirió que los participantes completaran una prueba de contrarreloj de tiempo individual XCO-MTB.

El circuito fue 6.85 km de longitud, con 144 m de ascenso vertical por vuelta. Los participantes debían completar 5 vueltas (distancia total = 34.25 km). Cabe señalar que la suma de las secciones 1 - 10 no es igual a la distancia total del circuito (5.55 vs 6.85 km)

El nivel de error dentro de los modelos establecidos en este estudio representa el 2% de la duración total de la prueba de campo.

Este modelo utilizó 5 variables independientes: $VO_{2\text{max}}$ relativo a la masa total de ciclismo (es decir, incluyendo casco, zapatos y bicicleta) ($\beta = 157,7$; estandarizado $\beta = -1.63$), salida de potencia media máxima en 30 s en relación con la masa total de ciclismo ($\beta = 437,7$; estandarizado $\beta = 1.20$), salida de potencia media máxima a lo largo de 5 s desde un inicio rodante en relación con la masa total de ciclismo ($\beta = -$

240,9; estandarizado $\beta = -0,51$), máximo fuerza de agarre de la mano izquierda ($\beta = -37,1$; estandarizado $\beta = -0,67$), y el tiempo promedio de respuesta para la toma de decisiones para todas las respuestas correctas ($\beta = -367,5$; estandarizado $\beta = -0,59$).

Resultados

El estudio actual informó que VO_{2max} proporcionó la base del modelo predictivo para el rendimiento total de la prueba contrarreloj, sin embargo, su efecto fue más fuerte cuando se hizo en relación con la masa total de ciclismo en lugar de solo el ciclista masa corporal. Curiosamente, ni PAM ni VO_{2max} se incluyeron en los modelos más fuertes para cualquiera de las secciones de descenso o 2 de las 3 secciones técnicas planas. Si bien esto sugiere que las características aeróbicas pueden no ser fuertes indicadores de rendimiento para todas las subsecciones XCO-MTB y resalta algunas limitaciones de investigaciones anteriores, las características aeróbicas siguen siendo la base subyacente del modelo para el rendimiento total y no deben descuidarse en las prácticas de entrenamiento.

Hays, A et al. (2018)

El objetivo de este estudio ha sido evaluar los requerimientos fisiológicos del actual XCO-MTB.

Los participantes de este estudio fueron 16 jóvenes varones ciclistas de bicicleta de montaña Sub23, todos compitiendo a nivel nacional o internacional [Edad: 17,4 años (rango: 15–23); consumo máximo de oxígeno: 64,6 ml.min⁻¹ kg⁻¹ (rango: 60,3–72,1); y PAM: 5.2 W.kg⁻¹ (rango: 4.3–5.6)]

En las carreras de XCO, las partes técnicas de la carrera requieren una conducción que implica una solicitud significativa de la extremidad superior. Este esfuerzo no está representado en las mediciones de potencia. Este resultado revela la dificultad en los deportes técnicos de relacionar la producción de potencia con las demandas fisiológicas y, por lo tanto, de describir las restricciones de actividad solo en función de los datos mecánicos proporcionados por las piezas de ciclismo.

Cuando se expresa en % $\text{VO}_{2\text{max}}$, nuestros valores indican que se solicitan contribuciones anaeróbicas y aeróbicas durante una carrera XCO, con más del 70% de la carrera tiempo pasado por encima de VT1 , y una intensidad media del 87% $\text{VO}_{2\text{max}}$. Además, un aumento de lactato en sangre (a 6.5 mmol.l⁻¹).

Resultados

Durante una carrera de XCO en bicicleta de montaña, una parte importante de la carrera se realiza por encima del segundo umbral de ventilación o incluso más allá de MAP, lo que indica un alto nivel de solicitud de vías metabólicas aeróbicas y anaerobias; Además, las contribuciones respectivas de estas vías varían entre vueltas.

Los períodos pasados más allá del MAP tienden a ser ráfagas cortas, oscilando principalmente entre 5 y 10 s, lo que sugiere que el ciclismo de montaña tiene un perfil acíclico.

Los parámetros de campo clásicos como % HR o % MAP no se correlacionan con las demandas fisiológicas expresadas como $\dot{V}O_{2max}$, cuál podría ser el mejor parámetro para monitorear las demandas fisiológicas de la bicicleta de montaña XCO.

Granier, C et al. (2018)

El propósito de este estudio ha sido caracterizar el perfil fisiológico de ciclistas de élite de bicicleta de montaña (XCO-MTB) y para examinar su distribución de ritmo y potencia (PO) durante las carreras internacionales.

Un total de 8 atletas masculinos XCO-MTB del equipo ciclista olímpico francés participaron en este estudio (5 Sub23 y 3 ciclistas de élite). Los corredores Sub23 y elite competían en diferentes carreras, pero en los mismos días y en las mismas pistas durante todas las carreras cubiertas en este estudio durante las temporadas 2014 y 2015.

Observamos que el tiempo pasado por encima del PAM durante las carreras se caracterizó por 18 sprint cada vuelta, lo que representa un estallido de alta intensidad de 559 vatios cada uno ~ 40 segundos.

Los resultados de este estudio indican (1) una reducción progresiva en PO y velocidad de SL (inicio del bucle) a L1 (vuelta 1) seguida de una distribución uniforme del ritmo hasta el final de la carrera, (2) una alta variabilidad en PO con una disminución en la variabilidad a lo largo del evento, (3) una distribución del tiempo pasado por debajo de VT1 y por encima de PAM mayor que el formato de la carrera anterior, y (4) una disminución progresiva del tiempo pasado en la zona 5 durante la carrera.

Resultados

Un tiempo medio de 90 (10) minutos, con un PO de 283 (22) W ($4.31 [0.32] \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ y $68\% [5\%] \text{ MAP}$), una velocidad de $19.7 (2.1) \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, una cadencia de 68 (8) rpm (o 83 [7] rpm, excluyendo el tiempo dedicado a no pedalear), y un valor medio de FC de $172 (11) \text{ latidos} \cdot \text{min}^{-1}$ ($91\% [2\%] \text{ HR max}$).

Las disminuciones en la PO de alta intensidad son el resultado del desarrollo progresivo de la fatiga o, más probablemente, el resultado de la alta densidad de ciclistas al comienzo de la carrera.

Schneeweiss, P et al.(2019)

El objetivo de este estudio ha sido examinar la producción de potencia y la cadencia en esfuerzos a corto plazo en condiciones de laboratorio y de campo.

Veintitrés atletas de competición ($17,9 \pm 3,7$ años) realizaron una prueba de perfil de potencia de laboratorio y una carrera simulada en una semana. El objetivo era examinar la potencia de salida y la cadencia en los esfuerzos a corto plazo en condiciones de laboratorio y de campo.

Después de una prueba de ejercicio graduada (GXT), que comenzó con 80 vatios y se incrementó en 40 vatios cada 3 minutos hasta el agotamiento subjetivo, los atletas continuaron pedaleando durante 7 minutos (período de recuperación) y luego procedieron con la Prueba de perfil de potencia (PPT) que comprendía : i) un sprint máximo de 10 s (TT_{10}); ii) un período de recuperación de 3 min seguido de un sprint máximo de 30 s (TT_{30}); iii) un período de recuperación de 5 min seguido de un esfuerzo

máximo de 60 s (TT_{60}); iv) un período de recuperación de 7 min seguido de un esfuerzo máximo de 300 s (TT_{300}); yv) un período de recuperación final de 5 minutos.

Resultados

Las correlaciones de los diferentes TT con el rendimiento en carrera (POR) fueron más altas que las de los resultados de GXT, excepto para MAP. La variación del rendimiento en carreras se puede explicar por 57% (TT_{10}), 72% (TT_{30}), 70% (TT_{60}) y 74% (TT_{300}), respectivamente.

La variabilidad de PO y la influencia confusa de las tácticas y las condiciones externas durante las carreras de XCO limitan el poder explicativo de las comparaciones entre los datos de PO recopilados de las pruebas de laboratorio y las carreras de XCO. No obstante, los resultados ($r = 0,79$ a $0,88$) de este estudio indican que es posible utilizar el PPT de laboratorio para determinar las capacidades de producción de potencia de los atletas durante las carreras XCO. Sin embargo, la comparabilidad de los datos de PO de las pruebas de laboratorio y de campo siempre dependerá del método de prueba utilizado.

Schneeweiss, P et al. (2020)

Este estudio tuvo como objetivo determinar la capacidad predictiva (validez de criterio) de una prueba de rendimiento específica de MTB en 23 atletas de XCO mediante la correlación de variables de laboratorio con la producción de potencia media en una carrera de XCO. El protocolo utilizado en este estudio es el mismo que se realiza en el anterior Schneeweiss, P et al. (2020).

Este estudio utilizó un protocolo de prueba de laboratorio que tardó solo una hora en completarse. En el modelo de regresión múltiple, los predictores ingresados sexo y masa corporal explicaron el 70% de la varianza. El modelo incluyó además MAP como la única variable que mejoró significativamente el poder predictivo del modelo.

Resultados

En el presente estudio, los resultados de GXT mostraron correlaciones altas a muy altas y podrían explicar el rendimiento de carrera de la carrera XCO con 65, 62 y 82% para IAT, LT₄ y MAP, respectivamente.

La frecuencia cardíaca _{máxima} individual del atleta fue de 196 ± 8 lpm en comparación con 196 ± 8 lpm después del GXT (HR_{GXT}) y, por lo tanto, casi idéntica. La concentración de lactato en sangre al final de la GXT fue de $11,5 \pm 2,1$ mmol * l⁻¹ y varió de 8,9 a 15,9 mmol * l⁻¹.

Sugieren que el rendimiento de XCO se basa en una combinación de capacidades aeróbicas y anaeróbicas altamente desarrolladas, así como características basadas en habilidades específicas.

5. DISCUSIÓN

El objetivo de esta revisión de la literatura ha sido realizar un análisis descriptivo y pormenorizado, sobre los determinantes y la capacidad de predicción de variables antropométricas, fisiológicas (test de laboratorio), de entrenamiento o combinadas y por fin de las evaluaciones de campo (test de campo), estimar el rendimiento en carreras de XCO-MTB.

La identificación de variables fisiológicas para la predicción del rendimiento, presenta al menos dos aplicaciones importantes en el área del entrenamiento deportivo. Una primera, sería la valoración de ciertas características fisiológicas determinantes relacionadas a la especialidad deportiva y en segundo lugar la relacionada al campo del entrenamiento (volumen e intensidad) en relación a la modalidad deportiva y especialmente en relación a las características metabólicas y funcionales (capacidad y potencia, aeróbica y anaeróbica) Alvero Cruz, J. R. (2017)

Las variables más estudiadas para la predicción del rendimiento en el XCO-MTB, son el VO_{2max} y la potencia aeróbica máxima (PAM), esto es probablemente debido a que las intensidades en las que se ejecutan dichas competiciones son muy cercanas a las intensidades máximas y por ello su gran relación. El VO_{2max} es la variable fisiológica que representa el máximo volumen de oxígeno que el cuerpo puede procesar para producir movimiento. Friel, J. (2011). Sin embargo a pesar de las fuertes correlaciones, gran parte de la varianza en el rendimiento permanece sin explicación.

En su estudio Novak, A. et al. (2018) divide en anaeróbicas (5-30 segundos) y aeróbicas (60-600 segundos). Los esfuerzos de 5 y 30 s se incluyeron como indicadores fuertes

del rendimiento de XCO-MTB para varias secciones, así como para todo el tiempo, las medidas de potencia aeróbica (> 60 s de potencia media) fueron indicadores de rendimiento más débiles en comparación con la prueba incremental. Como tal, el PPA puede ser una herramienta útil para la predicción del rendimiento de XCO-MTB, sin embargo, cuando se incluye una prueba incremental en los análisis, solo los esfuerzos <30 s parecen ser de valor predictivo. La predicción más sólida del rendimiento dentro del estudio actual se basó en una combinación de pruebas aeróbicas separadas (prueba de ejercicio incremental) y anaerobias (PPA acortado). Sin embargo el protocolo realizado por Schneeweiss, P et al. tardó solo una hora en completarse, siendo indiscutible que una prueba de ejercicio incremental seguida de una prueba específica influye en la producción de potencia, en resumen, se deben tener en cuenta las diferencias en el diseño del protocolo de prueba puesto que pueden influir en las correlaciones.

La potencia anaeróbica es importante para los ciclistas de XCO, pero con cada esfuerzo repetido de alta intensidad dependen cada vez más de su sistema aeróbico, lo que indica la necesidad de tener un sistema aeróbico bien desarrollado también. Sin embargo, esta serie de picos de carga en ausencia de una regeneración adecuada corresponde a los requisitos en las carreras de XCO-MTB.

Existen muchos estudios en la literatura que analizan la predicción del rendimiento en especialidades de tipo aeróbico, basados en los índices fisiológicos mencionados anteriormente. Sin embargo, los estudios publicados por Bejder, J. et al. (2019), Novak, A. et al. (2018) y Schneeweiss, P et al. (2019) han utilizado modelos de regresión

simple o múltiple, donde analizan las relaciones entre los índices fisiológicos y la capacidad del rendimiento aeróbico, incluyendo variables novedosas.

Según Bejder, J. et al. (2019) la potencia aeróbica y la capacidad de esprintar tienen un valor predictivo fuerte, estando de acuerdo con un modelo anterior de rendimiento en XCO-MTB, que se basa en un número limitado de medidas fisiológicas (Novak et al., 2018). El modelo previamente establecido demostró que el rendimiento XCO-MTB puede predecirse mediante VO_{2pico} en relación a la masa total del corredor (de masa corporal + equipos/material), potencia media máxima en periodos de 5 y 30 s, el pico fuerza de prensión manual de la mano izquierda y el tiempo de respuesta en la toma de decisiones. Por lo tanto, los hallazgos actuales y anteriores en conjunto sugieren que la hay poca información sobre el potencial atlético y la capacidad se obtiene a partir de mediciones fisiológicas más detalladas. Es importante destacar que, ambos estudios demuestran que la predicción del rendimiento más fuerte se obtiene por un enfoque de múltiples variables, que incluyen variables fisiológicas relativamente simples que representan tanto la potencia aeróbica; la fuerza y las variables de potencia muscular.

Con todos los datos recopilados y contrastados parece que puede afirmarse que la composición corporal parece ser un elemento muy relevante en el rendimiento en el XCO-MTB. La necesidad de que el peso corporal sea el menor posible sin perjudicar la masa muscular, ya que relativizar al peso los valores de potencia y de consumo de oxígeno es realmente importante para obtener el mejor rendimiento posible. Uno de los principales objetivos es ser lo más ligero posible de peso, pero generar la cifra más alta de vatios posible. Allen, H., & Coggan, A. (2012)

El rendimiento en carreras de XCO.MTB, está influenciado por una variedad de factores, tanto fisiológicas, como técnicas, y cognitivas. Las características morfológicas y antropométricas tales como los pliegues de grasa, el porcentaje de grasa corporal, las circunferencias, la longitud de los miembros inferiores, peso, estatura e índice de masa corporal (IMC) parecen tener una influencia en el rendimiento, pues unas características apropiadas tienen una mejor relación entre el gasto energético y rendimiento. Bejder, J. et al. (2019) ; Novak, A. et al. (2018) ; Hays, A et al. (2018) ; Granier, C et al. (2018) ; Schneeweiss, P et al.(2020) ; Schneeweiss, P et al.(2019)

En cuanto a la intensidades y variables que concurren en carrera encontramos dos estudios Hays, A et al. (2018) y Granier, C et al. (2018), en el primer estudio mencionado encontramos resultados muy significativos puesto que el VO₂ fue medido en toda la carrera. Los valores indican que más del 70% de la carrera tiempo pasado por encima de VT₁, y una intensidad media del 87% VO_{2max}.. A lo largo de la carrera el tiempo que pasó por debajo del VT₁, corresponde a un $29.4 \pm 10\%$ del tiempo, $33,6 \pm 2.7\%$ se gastó en la segunda zona, y $37.0 \pm 10,9\%$ de las veces los participantes estaban por encima de VT₂. Sin embargo en el segundo estudio referenciado observamos que el tiempo dedicado por debajo de VT₁ corresponde a un 46%, siendo significativamente superior al estudio anterior. No obstante en el tiempo obtenido por encima de la PAM se han obtenido resultados muy semejantes, con un 25% y 26% respectivamente.

Dicho estudio también se relaciona con el mencionado anteriormente Bejder, J. et al. (2019). Ya que los estudios actuales demuestra que aproximadamente el 25% se gastó

por encima de la PAM., con una mayor frecuencia entre 5-10 segundos, siendo la prueba sprints repetidos con una correlacionan muy alta en el rendimiento.

Por otro lado, no se encontraron correlaciones entre el análisis fisiológico y mecánico (potencia), Los parámetros de campo clásicos como % HR o % MAP no se correlacionan con las demandas fisiológicas expresadas como % VO₂max. Por lo tanto, y según Schneeweiss, P et al.(2020) no es apropiado controlar la intensidad de tales intervalos cortos utilizando la frecuencia cardíaca, especialmente en diferentes condiciones ambientales si existe la posibilidad de un entrenamiento con control de potencia.

En referencia a la estrategia de carrera se observó que después de un inicio rápido, los ciclistas de montaña de élite pueden mantener una velocidad y un tiempo de vuelta similares durante todo el evento. Los datos metabólicos registrados en el estudio publicado por Hays, A et al. (2018) corroboran estas observaciones, ya que durante la primera vuelta se pasó una mayor proporción del tiempo a niveles de alta intensidad (P4 y Z3) en comparación con las vueltas 2 y 3. La primera vuelta también se asoció con una disminución significativa en pH sanguíneo y HCO₃⁻ y un aumento significativo en el lactato en sangre en comparación con los niveles previos al ejercicio. Lactato sanguíneo, pH y HCO₃⁻ tendieron a regresar a los niveles previos al ejercicio después de las vueltas 2 y 3, pero aún así se mantuvieron significativamente diferentes a los valores previos al ejercicio. Estas observaciones reflejan una alta solicitud de la vía anaeróbica en la primera vuelta y un retorno gradual a un régimen de ejercicio más aeróbico durante las vueltas posteriores.

Haciendo referencia a otro artículo incluido en esta revisión, Schneeweiss, P et al. (2020) encontramos que los resultados de GXT (prueba de esfuerzo gradual) mostraron correlaciones altas a muy altas y podrían explicar el rendimiento de carrera de la carrera XCO con 65% para IAT, 62% LT₄ y 82% MAP. El estudio mencionado muestra de nuevo que son consistentes con los resultados hallados en otros estudios, el 86% de la varianza de POR (Potencia de salida de la carrera), podría explicarse con variables como el sexo, masa corporal y predictor PAM.

Por otro lado, Schneeweiss, P et al. (2019) encontramos diferencias al examinar la potencia de salida y la cadencia en los esfuerzos a corto plazo en condiciones de laboratorio y de campo. El alto CAD autoseleccionado, especialmente en condiciones de laboratorio, confirma el supuesto de que un PO más alto también requiere un CAD más alto. Sin embargo, el CAD individual de un atleta difiere considerablemente en algunos casos.

Sin embargo, no podemos olvidar que las carreras de XCO pueden diferir notablemente con respecto a las demandas fisiológicas y técnicas, así como las condiciones ambientales (p. Ej., Suelo mojado y resbaladizo; lluvia). Esto podría explicar la aclaración comparativamente menor del rendimiento total de XCO por variables fisiológicas.

Existe un cierto número de referencias bibliográficas, en relación a la predicción del rendimiento en corredores de bicicleta de montaña. Clásicamente destacan, el consumo de oxígeno máximo (VO₂max), la potencia aeróbica máxima (PAM) y el umbral anaeróbico, que son las variables que principalmente se han utilizado, para predecir el

rendimiento en las carreras de XCO-MTB, Gregory et al., (2007); Impellizzeri et al. (2005); pero existe un gran vacío en el campo de la predicción del rendimiento cuando este, está basado en los test de campo y en las múltiples variables que pueden influir sobre el rendimiento.

6. LIMITACIONES

Sobre las limitaciones de esta revisión sistemática, el número de bases de datos electrónicas utilizado podría haber sido mayor.

Por otra parte, en esta revisión se han tenido en cuenta los idiomas inglés y español, pudiendo encontrar más estudios en otros idiomas. Además algunos de los estudios seleccionados no podían ser leídos a texto completo.

Otra de las limitaciones ha sido el tamaño de la muestra, puesto que en la mayoría de estudios es relativamente pequeña.

El hecho de que las variables fueran medidas con diferentes términos y test en los estudios, complicó la interpretación de los resultados.

7. CONCLUSIONES

Los resultados de esta revisión sistemática confirman investigaciones anteriores que sugieren que el rendimiento de XCO-MTB se basa en una combinación de capacidades aeróbicas y anaeróbicas altamente desarrolladas, así como características basadas en habilidades y destrezas específicas.

Una simple evaluación, puede proporcionar información valiosa de la actuación CXO-MTB. Nos proporciona fuertes aplicaciones prácticas para entrenadores y ciclistas, una oportunidad para monitorear el progreso de forma objetiva, y ajustar el programa de entrenamiento de un atleta.

La potencia producida durante las pruebas de laboratorio puede diferir de la producida durante la competición. Sin duda la técnica y táctica de los atletas y su manejo en las condiciones externas dadas, tienen una influencia determinante. Sin embargo, estos factores no se pueden medir con un método de diagnóstico de laboratorio factible y fácil de estandarizar.

Hay una escasez de investigaciones científicas sobre la naturaleza de la demanda de trabajo en relación a las carreras cross-country de bicicleta de montaña con referencia específica a los verdaderos requisitos fisiológicos / físicos del deporte. Esto limita la efectividad tanto del científico deportivo como del entrenador para poder desarrollar y prescribir estrategias de entrenamiento efectivas. Por ello se necesitan más estudios para comprender mejor los mecanismos metabólicos y otros factores asociados a este deporte.

CONCLUSIONS

The results of this systematic review confirm previous research suggesting that XCO-MTB performance is based on a combination of highly developed aerobic and anaerobic capacities, as well as characteristics based on specific abilities and skills.

A simple evaluation can provide valuable information on the CXO-MTB performance. It provides us with strong practical applications for coaches and cyclists, an opportunity to monitor progress objectively, and adjust an athlete's training program.

The power produced during laboratory tests may differ from that produced during competition. Without a doubt the technique and tactics of the athletes and their handling in the given external conditions, have a determining influence. However, these factors cannot be measured with a feasible and easy-to-standardize laboratory diagnostic method.

There is a dearth of scientific research on the nature of the demand for work in relation to cross-country mountain bike racing with specific reference to the true physiological / physical requirements of the sport. This limits the effectiveness of both the sports scientist and the coach in developing and prescribing effective training strategies. Therefore, more studies are needed to better understand the metabolic mechanisms and other factors associated with this sport.

8. BIBLIOGRAFÍA

Albouaini K, Egred M, Alahmar A, Wrioth Dj. Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Heart* 2007;83(985):675-82

Allen, H., & Coggan, A. (2012). *Training and racing with a power meter*. VeloPress.

Alvero Cruz, J. R. (2017). *Determinantes del rendimiento en carretas de media maratón: validez predictiva de modelos de estimación mediante test de campo y laboratorio*.

Aranaud Hays, Simon Devys, Denis Bertin, Laurie-anne Marquet, & Jeanick Brisswalter. (2018). *Understanding the Physiological Requirements of the Mountain Bike Cross- Country Olympic Race Format*. <https://doi/10.3389/fphs.2018.01062>

Base de datos de Scopus | Recursos Científicos. (2018). Retrieved July 17, 2018, from <https://www.recurtoscientificos.fecyt.es/licencias/productos-contratados/scopus>

Bazán, N. E , and Colacilli, M (2014). Test de campo para estimar consumo de oxígeno. *ISDe Sports Magazine – Revista de Entrenamiento* 20 (6), 110-118.

Bejder, J., Bonne, T. C., Nyberg, M., Sjøberg, K. A., & Nordsborg, N. B. (2019). Physiological determinants of elite mountain bike cross-country Olympic performance. *Journal of sports sciences*, 37(10), 1154–1161. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1546546>

Engelbrecht L, Terblanche E. Physiological performance predictors in mountain bike multi-stage races. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2018 Jul-Aug;58(7-8):951-956. DOI: 10.23736/s0022-4707.17.07139-0.

Friel, J. (2011). *Manual de entrenamiento del ciclista*.

Granier, C., Abbiss, C. R., Aubry, A., Vauchez, Y., Dorel, S., Hausswirth, C., & Le Meur, Y. (2018). Power Output and Pacing During International Cross-Country Mountain Bike Cycling. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 13(9), 1243-1249.

Gregory J. R. (2002). *The Physiological and Physical Determinants of Mountain Bike Cross Country Cycling*. Available at: http://eprints.utas.edu.au/19926/1/whole_GregoryJohnRaymond2002_thesis.pdf [accessed May 29 2017]. [Google Scholar]

Guía RefworksBUZ - Versión clásica [Elaborada por la Biblioteca de Derecho - Mayo 2018]. From

https://biblioteca.unizar.es/sites/biblioteca.unizar.es/files/refworks/guia_refworks.pdf

Impellizzeri, F., Sassi, A., Rodriguez-Alonso, M., Mognoni, P., and Marcora, S. (2002). Exercise intensity during off-road cycling competitions. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34, 1808–1813. doi: 10.1097/00005768-200211000-00018

Impellizzeri, F. M., and Marcora, S. M. (2007). The physiology of mountain biking. *Sports Med.* 37, 59–71. doi: 10.2165/00007256-200737010-00005

Inoue, A. , Sá Filho, A. S. , Mello, F. C. & Santos, T. M. (2012). Relationship Between Anaerobic Cycling Tests and Mountain Bike Cross-Country Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(6), 1589–1593. doi: 10.1519/JSC.0b013e318234eb89.

International Cycling Union (UCI) Reglas y regulaciones.

Recuperado de: <https://www.uci.org/mountain-bike/about-mountain-bike>

International Cycling Union (UCI) Mountain bike. Official documents.

Recuperado de: <https://www.uci.org/news/2018/2018-uci-mountain-bike---official-documents>

Lee, H., Martin, D. T., Anson, J. M., Grundy, D., and Hahn, A. G. (2002). Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. *J. Sports Sci.* 20, 1001–1008. doi: 10.1080/02640410232101 1760.

Macdermid, P., & Stannard, S. (2012). Mechanical work and physiological responses to simulated cross country mountain bike racing. *Journal of Sports Sciences*, 30(14), 1491–1501.

Miller, M., & Moir, G. (2013). *Validity of Using Functional Threshold Power and Intermittent Power to Predict Mountain Bike Race Outcome.*

Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, PRISMA Group T. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. ; Ítems de referencia para publicar Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis: La Declaración PRISMA. 2014. doi:10.14306/renhyd.18.3.114.

Novak, A. R., Bennett, K. J. M., Fransen, J., & Dascombe, B. J. (2018). A multidimensional approach to performance prediction in Olympic distance cross-country mountain bikers. *Journal of Sports Sciences*, 1, 71.

Plas, R., 1992. *El Manual De La BTT*. Bilbao: Dorleta.

Pubmed NCBI

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?otool=iesualib>

Quod, M., Martin, D. T., Martin, J. C., & Laursen, P. (2010). *The Power Profile Predicts Road Cycling MMP*. <https://doi.org/roble.unizar.es:9443/10.1055/s-0030-1247528>

Real Federación Española de Ciclismo (2020). Reglamento del deporte ciclista UCI. Pruebas de mountain bike. Título IV (*Versión 11.02.20*).

Recuperado de: <https://rfec.com/index.php/es/smartweb/seccion/seccion/rfec/home>

Stapelfeldt, B., Schwirtz, A., and Schumacher, Y. O. (2004). Workload demands in mountain bike racing. *Int. J. Sports Med.* 25, 294–300. doi: 10.1055/s-2004- 819937

Saltin, B. and Åstrand, P.O. (1967). *Maximal oxygen uptake in athletes*. Journal of Applied Physiology, 23, 353-358.

Svedahl, K., & MacIntosh, B. R (2003). Anaerobic Threshold: The Concept and Methods of Measurement. *CANADIAN JOURNAL OF APPLIED PHYSIOLOGY*, 2, 299.

Shneeweiss, P., Sechellhorn, P., Haigis, D., Niess, A., Krauss, I., & Martus, P. (2019). Predictive Ability of a Laboratory Performance Test in Mountain Bike Cross-country Olympic Athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 40(6), 397-403.

Shneeweiss, P., Sechellhorn, P., Haigis, D., Niess, A., Martus, P., & Krauss, I. (2020). Predictive Ability of a Laboratory Performance Test in Mountain Bike Cross-country Olympic Athletes. *Sports Medicine International Open*, 4(1), E19-E26.
<https://doi.org/10.1055/a-1101-5750>

The International Olympic Committee (IOC). Cycling Mountain Bike. Retrieved May 12, 2020, from <https://www.olympic.org/cycling-mountain-bike>

Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). [PRISMA declaration: a proposal to improve the publication of systematic reviews and meta-anayses]. *Medicina Clinica*, 135 (11), 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010-01.015>

Web Of Science | FECYT. (n.d.). Retrieved May 10, 2020, from
<https://www.fecyt.es/es/recurso/web-science>

ANEXOS

Autores	Tamaño de la muestra	Protocolo	Variables observadas	Resultados	Conclusiones
<i>Bejder, J. et al. (2019)</i>	11	Campo	Antropometría	- La regresión lineal múltiple demostró 98% de la varianza ($P < 0,001$) en el rendimiento de XCO-MTB se explica por el máximo de oxígeno captación relativa a la masa corporal ($VO_{2\text{ pico, rel; [ML / kg / min]}}$), en combinación una prueba de sprints repetidos 4 x 30 s a tope de salida.	- Un modelo de regresión lineal múltiple puede explicar hasta el 98% de la varianza rendimiento en un evento XCO-MTB, principalmente por $VO_{2\text{ pico, rel}}$ y el índice de fatiga durante una prueba de 30 s de sprint. - Las variables de potencia de la prueba de sprint repetido explican hasta el 88% de la varianza en el rendimiento XCO-MTB a través de un modelo de regresión lineal múltiple.
			Aeróbico central		
			<ul style="list-style-type: none"> - $VO_{2\text{ pico}}$ - Masa total de hemoglobina - Volumen de sangre 		
			Aeróbico periférico		
			<ul style="list-style-type: none"> - Diámetro arteria femoral - W_{max} extensión de rodilla a una pierna - Flujo sanguíneo max de la arteria femoral 		
			Potencia		
			<ul style="list-style-type: none"> - Potencia media en RST - Potencia media del pico de potencia. - Índice de fatiga 		
			Fuerza extremidad inferior		
<i>Novak, A. et al. (2018)</i>	12	Laboratorio Campo	Antropometría	<ul style="list-style-type: none"> - $VO_{2\text{ max}}$ proporcionó la base del modelo predictivo para el rendimiento total en relación con la masa total de ciclismo. - Los esfuerzos de 5-30 s se incluyeron como indicadores fuertes del rendimiento de XCO-MTB para varias secciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Existe una amplia gama de variables fisiológicas y de toma de decisiones pueden predecir fuertemente el rendimiento dentro de XCO-MTB. - Los indicadores de rendimiento más fuertes fluctúan dependiendo de la naturaleza del circuito
			Fuerza de agarre		
			Capacidad aeróbica		
			<ul style="list-style-type: none"> - $VO_{2\text{ max}}$ - PAM 		
			Potencia		
			<ul style="list-style-type: none"> - Pico de todos los esfuerzos - Potencia media 5 – 15 – 30 – 60 – 240 – 600 segundos) 		
			<ul style="list-style-type: none"> - Toma de decisiones 		

<i>Hays, A et al. (2018)</i>	16	Campo	Capacidad aeróbica	<p>- Más del 70% de la carrera tiempo pasado por encima de VT1, y una intensidad media del 87% VO_{2max}.</p> <p>- Las duraciones de la mayoría de los períodos más allá del PAM oscilaron entre 5 y 30 s.</p>	<p>- Los parámetros de campo clásicos como % HR o % MAP no se correlacionan con las demandas fisiológicas expresadas como % · VO_{2max}.</p> <p>- El formato actual de la carrera XCO es un ejercicio acíclico e intermitente comparable a los deportes de equipo de alta intensidad. Además, nuestros resultados destacan la relevancia de · VO 2 valores al analizar el rendimiento de XCO, deben combinarse con los datos de salida de potencia y / o FC utilizados comúnmente.</p>
			<ul style="list-style-type: none"> - VO_{2 max} - PAM 		
			Frecuencia cardiaca		
			<ul style="list-style-type: none"> - Z1 (por debajo de VT1) - Z2 (entre VT1-VT2) - Z3 (entre VT2 y VO_{2 max}) 		
			Potencia		
			<ul style="list-style-type: none"> - NP - P1 - P2 - P3 - P4 (1–5 s, 6–10 s, 11–15 s, 16–20 s, y más de 20 s.) 		
			Análisis sanguíneo		
<i>Granier, C et al. (2018)</i>	8	Laboratorio Campo	Capacidad aeróbica	<p>- Esta disminución de PO se asoció con una reducción progresiva en el tiempo pasado por encima de PAM (- 35.7% [10.4%] entre L1 (primera vuelta) y Ln (última vuelta)) y un aumento del tiempo pasado en zonas de intensidad moderada (37.4% [8.1%] y 34.3% [6.7%] entre L1 y Ln, respectivamente.</p>	<p>- Se requiere una alta participación aeróbica y también promueve una mayor contribución anaeróbica.</p> <p>- Las carreras XCO-MTB se realizan a intensidades más altas que las reportadas en investigaciones anteriores y se caracterizan por un inicio rápido seguido de un ritmo uniforme.</p>
			Frecuencia cardiaca		
			Potencia (durante cada vuelta)		
			<ul style="list-style-type: none"> - < 10% PAM - 10% PAM – VT1 - VT1-VT2 - > PAM 		
			Velocidad		
			Cadencia		

Schneeweiss, P et al.(2020)	23	Laboratorio Campo	Antropometría	<p>- En comparación con la carrera, encontramos una mayor potencia de salida durante la prueba de perfil de potencia para los esfuerzos más cortos pero más bajos para TT₆₀ y TT₃₀₀.</p> <p>- La prueba de rendimiento específica de MTB (MTB-PT) explicó el 57% (TT₁₀), el 72% (TT₃₀), el 70% (TT₆₀) y el 74% (TT₃₀₀) de la variación en PO durante una carrera de XCO.</p>	<p>- La variabilidad de PO y la influencia confusa de las tácticas y las condiciones externas durante las carreras de XCO limitan el poder explicativo de las comparaciones entre los datos de PO recopilados de las pruebas de laboratorio y las carreras de XCO.</p> <p>- Los resultados (r = 0,79 a 0,88) de este estudio indican que es posible utilizar el PPT de laboratorio para determinar las capacidades de producción de potencia de los atletas durante las carreras XCO.</p>
			Potencia		
			<ul style="list-style-type: none"> - 10 s - 30 s - 60 s - 300 s 		
			Cadencia		
			<ul style="list-style-type: none"> - 10 s - 30 s - 60 s - 300 s 		
Schneeweiss, P et al. (2019)	23	Laboratorio Campo	Antropometría	<p>- Los resultados de GXT mostraron correlaciones altas a muy altas y podrían explicar el rendimiento de carrera de la carrera XCO con 65, 62 y 82% para IAT, LT₄ y MAP.</p> <p>- Ochenta y seis por ciento (R²_{adj} = 0,86; SEE = 17.2) de la varianza en POR podría explicarse con las variables ingresadas sexo y masa corporal y el predictor PAM.</p>	<p>- El rendimiento de XCO se basa en una combinación de capacidades aeróbicas y anaeróbicas altamente desarrolladas, así como características basadas en habilidades específicas.</p>
			Capacidad aeróbica		
			- PAM		
			IAT (individual anaerobic threshold)		
			LT ₄ (4 mmol lactate threshold)		
			Potencia		
			<ul style="list-style-type: none"> - 10 s - 30 s - 60 s - 300 s 		

GXT: Graded Exercise Testing (Test incremental), IAT: Umbral anaeróbico individual, LT₄: Umbral de lactato de 4 mmol, PAM: Potencia aeróbica máxima, PO: Power-output, POR: Power-output of the race (Potencia de salida de la carrera), PPA: Perfil de potencia, PPT: Prueba de perfil de potencia, VO_{2max}: Volumen máximo de oxígeno, VO_{2pico rel}: Consumo pico de oxígeno relativo a la masa corporal, VT₁: Umbral ventilatorio 1, XCO-MTB: Cross-country Olympic mountain bike.

Tabla 2 . Artículos incluidos en la revisión

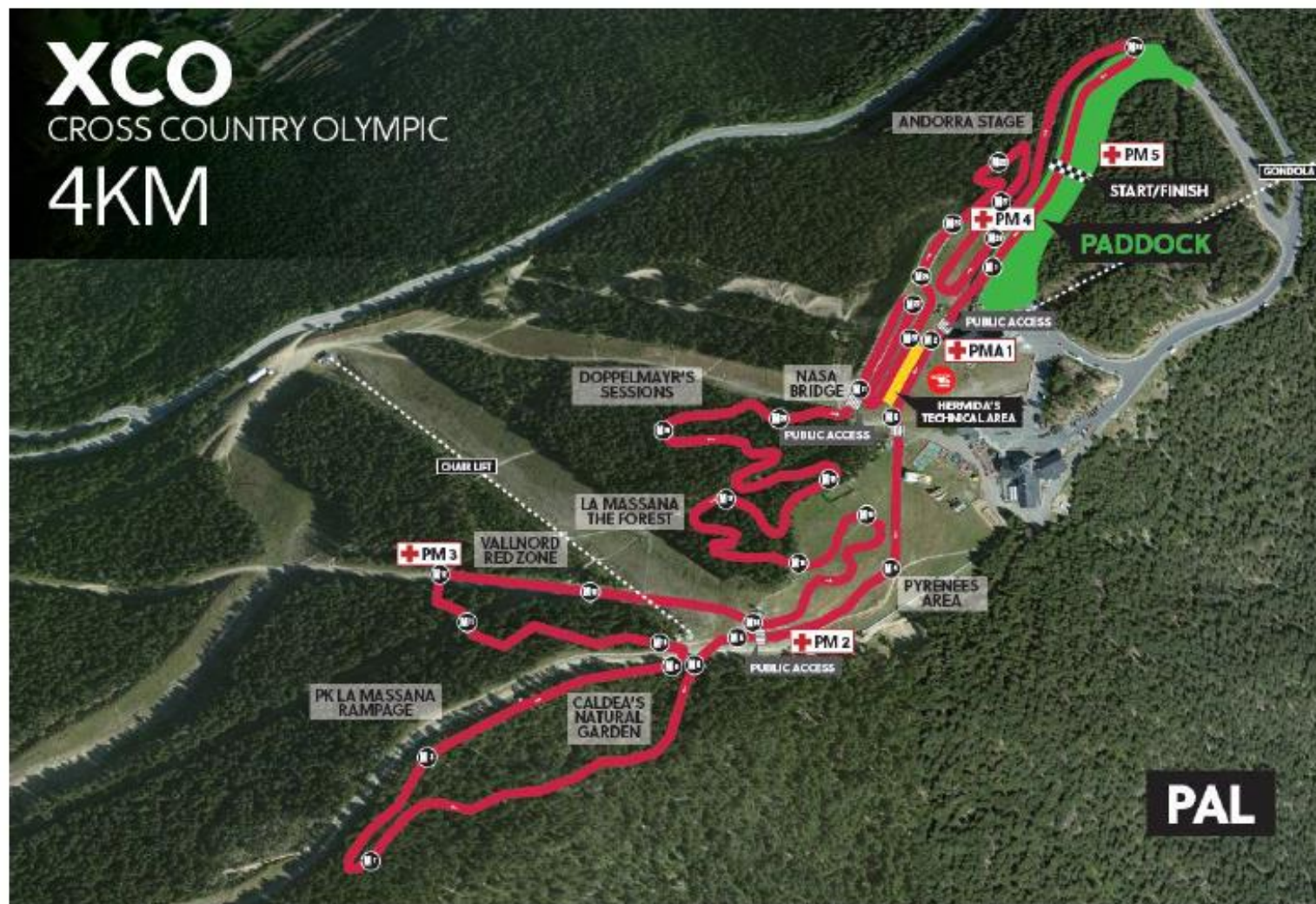


Figura 2 (UCI, Mountain Bike. 2020)